

熱帯林における乾性沈着推定法の評価 -林内雨・林外雨法による検証-

12MB-003 : 加藤 なつ美
指導教員 : 松田和秀

1. 背景と目的

近年、東アジア地域における経済発展に伴い大気汚染物質の排出量が増加し、越境大気汚染が問題となっている。特に、硫黄酸化物や窒素酸化物などの酸性物質は、地表面へ沈着し、生態系へ影響を与えるため、実際にどれほどの酸性物質が沈着しているのかを把握することは非常に重要である。酸性物質の主な沈着過程には降水に取り込まれて沈着する湿性沈着と、ガス、粒子状物質がそのまま地上に沈着する乾性沈着がある。湿性沈着は、降水を直接サンプリングし分析するので、その量を測定することは比較的容易である。一方、乾性沈着に関しては、湿性沈着に比べて測定が困難であり、目的に応じて多くの測定法が提案されている。その中のひとつである乾性沈着推定法 (Inferential 法) は、渦相関法や濃度勾配法などの直接測定とは異なり、大気中濃度と微気象要素から抵抗モデルを用いて求められる沈着速度の積から乾性沈着量を求めるため、間接測定ではあるが、測定地点に合った沈着速度推計法を構築すれば実用性が高く、ルーチンモニタリングに適したものとなり、広域での乾性沈着推計が可能になる (松田, 2008)。

また、近年東アジアにおいて様々な研究が重ねられ、日本や中国、タイなどで乾性沈着の直接測定に基づくフィールド研究の実施により、当該地域の乾性沈着推定法の適用性に関する知見が多く得られてきている。そこで、本研究では、熱帯林における Inferential 法の適用性の評価を目的として、タイ国サケラートにおいて年間を通した長期間の評価を初めて実施した。当該地域において、Inferential 法で推計された硫黄酸化物の乾性沈着量(加藤ら 2012)と、森林への長期間の乾性沈着量を把握することに適した方法(高橋ら, 1998)である林内雨・林外雨法で直接測定された硫黄酸化物の乾性沈着量(荒井, 2012)との比較を行った。また、熱帯に対する比較データを取得することを目的として、温帯に位置する東京都八王子市にある東京農工大学研究林施設(FM 多摩丘陵)にて同様な手法による調査を実施し、各手法、各地点で算出した乾性沈着量の妥当性を評価し、季節変動および月別の特徴を解析し、熱帯林における乾性沈着推定手法の評価を行った。

2. 研究方法

2-1. Inferential 法 : タイ国サケラートの平坦な熱帯林(約 19m)において、高さ 36m の大気観測鉄塔を設置し、気象観測を実施した。 SO_4^{2-} と SO_2 の沈着速度は、抵抗モデル(松田, 2008)により計算した。沈着速度を求める際に必要な気象・微気象要素として、3次元超音波風速計により測定した摩擦速度およびモニン-オブコフ長を使用した。他に、風速、気温、相対湿度、日射量、降水量のデータを使用し、1時間毎に沈着速度を計算した。ゼロ面変位および空気力学的粗度は、Matsuda et al.(2012)に基づき、落葉期(1~3月)、推移期(4、5、12月)、着葉期(6~11月)と分類して、各期別に設定した。 SO_4^{2-} および SO_2 濃度は、同じサケラートに位置する EANET ナコンラチャシマ局の月平均値を用いた。

また、対照地点として、東京都八王子市に位置する東京農工大学 FM 多摩丘陵の落葉樹林(約 20m)において、高さ 30m の大気観測鉄塔を設置し気象観測を実施した。 SO_4^{2-} と SO_2 の沈着速度の推定手法、沈着速度を求める際に必要な気象・微気象要素は、タイ国サケラートと同様である。ゼロ面変位および空気力学的粗度は、風速の高度差から求め、着葉期(5~11月)、落葉期(12~4月)別に設定した。 SO_4^{2-} および SO_2 濃度は、観測鉄塔の高さ 30m 地点において、フィルターパック法によるサンプリングを行い、超純水へ抽出後にイオンクロマトグラフにより定量した。なお、2012年10月から2013年5月の間、 SO_2 を捕集していなかったため、観測地点から約 6 km 離れた東京都環境局愛宕測定所のデータ(月平均値)を補正して用いた。両地点とも Inferential 法に基づき、対象成分の大気中濃度と抵抗モデルにて計算した沈着速度を掛け合わせて乾性沈着量を推計した。

2-2. 林内雨・林外雨法 : タイ国サケラートの熱帯林集水域において、林内 5ヶ所と林外 3ヶ所に降水捕集器を設置し、半月毎に連続サンプリングを行った。同様に、東京都八王子市東京農工大学 FM 多摩丘陵の落葉樹林(コナラ林)においても、林内 3ヶ所と林外 1ヶ所に降水捕集器を設置し、1週間毎に連続サンプリングを行った。両地点とも採取した試料を計量し、濾過を行った後、イオンクロマトグラフを用いて無機イオン成分の分析を行った。また、樹幹流の成分は林内雨の成分の 5~10%程度(高橋ら, 1998)と考えられており、ここでは樹幹流の沈着量を考慮しなかった。

3. 結果及び考察

タイ国サケートにおける 2010 年の硫黄酸化物の年乾性沈着量は、Inferential 法で $7.5 \text{ mmol/m}^2/\text{year}$ 、林内雨・林外雨法で $12.0 \text{ mmol/m}^2/\text{year}$ と推計され、Inferential 法が過小評価となった(図 1)。

季節変化に関して、乾季の終わり(2~3 月)に比較的良い一致を示し、その他は Inferential 法が過小評価となった。しかし、両手法における月乾性沈着量は似た傾向を示しており、両者の間には有意な相関がみられた。対照地点である東京農工大学 FM 多摩丘陵における 2012 年 10 月から 2013 年 9 月の硫黄酸化物の年乾性沈着量は、Inferential 法で $8.7 \text{ mmol/m}^2/\text{year}$ 、林内雨・林外雨法で $7.1 \text{ mmol/m}^2/\text{year}$ と推計され、Inferential 法が過大評価となった(図 2)。季節変化に関して、落葉期に Inferential 法が過大評価を示した。これは、林内雨・林外雨法が樹冠への沈着のみを考慮するのに対し、Inferential 法は林床への沈着も考慮するため、推定値が過大評価している可能性が考えられた。

次に、熱帯における Inferential 法が過小評価に繋がった原因として、以下の事項が考えられた。

1. 雨季に乾性沈着量の差が生じた一因として、ガス状 SO_2 の沈着速度が表面状態(乾燥、湿潤)の設定に強く依存するため、降水量の多い時期(4~10 月)の表面状態の設定方法における不確かさが挙げられる。 SO_2 は、乾燥表面に比べ湿潤表面への取り込みが促進されるが、降水の出現により沈着面を乾・湿判断した際の調査期間湿潤率が 29%であったのに対し、相対湿度にしきい値を設けて判断した場合の湿潤率は 42%と差が生じ、推定値が過小評価している可能性が示唆された。
2. 雨季の低濃度時において推定に用いた EANET ナコンラチャシマ局の粒子状 SO_4^{2-} 濃度が鉄塔観測で測定した濃度よりも低濃度を示した。これは、EANET ナコンラチャシマ局の測定高度が地上に近く、周辺が樹木で囲まれているため、林上の濃度よりも減衰した濃度を示し、推定値が過小評価している可能性が考えられた。
3. Inferential 法の測定地点である平坦な森林に比べ、林内雨・林外雨法の測定地点である集水域の森林の LAI が約 2 倍もの高い値を示し、同じ単位面積あたりに約 2 倍の葉量が存在することを指した。本研究で沈着速度を推計する際に用いた抵抗モデルは、広域用に開発されており、葉面積指数等による樹冠の厚さをパラメータとして導入しておらず平均的な森林を対象としていたため、推定値が相対的に低くなったと考えられた。

以上の考察から、熱帯林における Inferential 法の推定値は、上記の 3 点を考慮すると増加して実測値に近づくと考えられ、長期的かつ広域的に乾性沈着量を評価するには温帯同様の精度で評価が可能であると考えられた。今後、測定地域に合わせた乾湿判断の見直しや対象とする森林において測定された葉面積指数を考慮した表面抵抗のパラメタリゼーションを導入することで、沈着速度推計における精度の向上に繋がると考えられる。

参考文献

- 1) 松田(2008), 大気環境学会誌 43,332-339
- 2) 加藤ら (2012), 第 53 回大気環境学会講演要旨集, 295
- 3) 高橋ら(1998), 環境科学会誌 11(1), 39-48
- 4) 荒井 (2012), 明星大学平成 24 年度卒業論文
- 5) Matsuda et al., Atmospheric Environment 54,282-287(2012)
- 6) Lindberg et al., surface exchange 3,1367-1378 (1992)

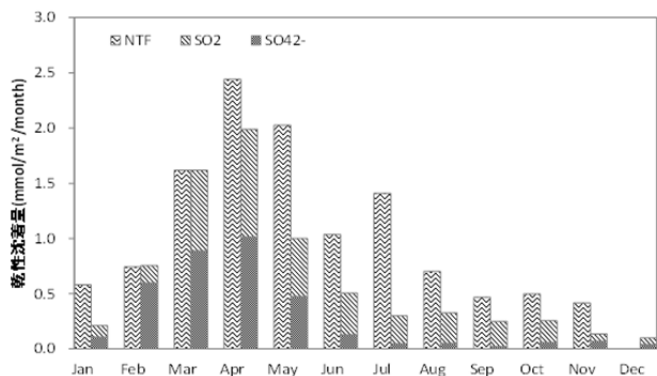


図 1. 熱帯林における硫黄酸化物の乾性沈着量 (左: 林内雨林外雨法、右: Inferential 法)

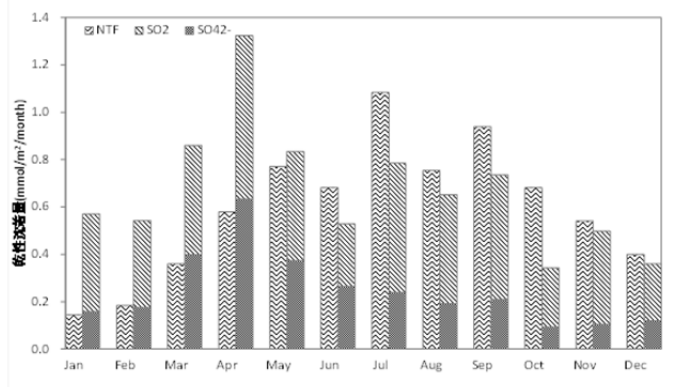


図 2. 温帯林における硫黄酸化物の乾性沈着量 (左: 林内雨林外雨法、右: Inferential 法)